



EFFECT OF COMPACTION TEMPERATURE IN MARSHALL MIX DESIGN ON THE PERFORMANCE OF ASPHALT MIXTURE

Tran Ngọc Hưng, Tran Trung Hieu*

University of Transport Technology, No 54 Trieu Khuc Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 18/10/2021

Revised: 16/11/2021

Accepted: 30/11/2021

Published online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.6>

* *Corresponding author*

Email: trantrunghieu@utt.edu.vn; Tel: +84904681316

Abstract. The quality of the asphalt mixture depends on many factors such as the type of materials, mix design method, quality management in asphalt pavement construction...where the mixing and compaction processes are important factors in the construction phase. The paper conducts experimental research to evaluate the effect of temperature factors in the mixing and compaction process, according to Marshall method, on the volumetric and mechanical properties of dense-graded asphalt mixture. The results showed that the optimum asphalt content changes with increasing or decreasing of the mixing and compaction temperature of the sample. In addition, the Marshall stability, the elastic modulus and the indirect tensile strength of the asphalt concrete sample followed a linear law with the variation of mixing and compaction temperature.

Keywords: Asphalt mixture, compaction and mixing temperature, air voids, Marshall stability, elastic modulus, indirect tensile resistance.



ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐÀM MẤU TRONG THIẾT KẾ MARSHALL ĐẾN ĐẶC TÍNH CỦA BÊ TÔNG NHỰA

Trần Ngọc Hưng, Trần Trung Hiếu*

Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải, Số 54 Triều Khúc, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 18/10/2021

Ngày nhận bài sửa: 16/11/2021

Ngày chấp nhận đăng: 30/11/2021

Ngày xuất bản Online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.6>

* Tác giả liên hệ

Email: trantrunghieu@utt.edu.vn; Tel: +84904681316

Tóm tắt. Chất lượng của hỗn hợp bê tông nhựa sau khi thi công phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại vật liệu thành phần được sử dụng, thiết kế thành phần các loại vật liệu, chất lượng thi công... trong đó quá trình trộn và đầm nén hỗn hợp bê tông nhựa giữ vai trò quyết định trong các yếu tố ảnh hưởng thuộc giai đoạn thi công. Bài báo tiến hành nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sự ảnh hưởng của yếu tố nhiệt độ trong quá trình trộn và đầm mẩu bê tông nhựa theo phương pháp Marshall đến các đặc tính thể tích và cơ học của bê tông nhựa chặt 12,5. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng nhựa tối ưu thiết kế thay đổi khi tăng hoặc giảm nhiệt độ trộn và đầm nén mẩu. Ngoài ra, độ ổn định Marshall, mô đun đàn hồi và cường độ chịu kéo gián tiếp của mẩu bê tông nhựa có sự thay đổi tuân theo quy luật tuyến tính theo sự thay đổi nhiệt độ trộn và đầm mẩu.

Từ khóa: bê tông nhựa, nhiệt độ đầm và trộn, độ rỗng dư, mô đun đàn hồi, độ ổn định Marshall, cường độ chịu kéo gián tiếp.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình phối trộn và đầm nén hỗn hợp bê tông nhựa (BTN) trong phòng thí nghiệm cũng như thi công ngoài hiện trường, nhiệt độ đóng một vai trò rất quan trọng. Khi nhiệt độ tăng, nhựa đường giảm độ nhớt, giảm tính quán tính, qua đó ảnh hưởng tới tính công tác của hỗn hợp: khi độ nhớt của nhựa đường giảm tới mức quy định, nhựa đường mang các đặc tính gần với chất lỏng Newton, giảm sức căng bề mặt, qua đó cải thiện đáng kể khả năng bao bọc cốt liệu và chiều dày màng nhựa bao bọc. Nếu lựa chọn nhiệt độ phối trộn và đầm nén

quá cao dẫn đến cải thiện được tính công tác của hỗn hợp bê tông nhựa, tuy nhiên lại làm tăng mức độ lão hóa của nhựa đường, dẫn đến suy giảm tuổi thọ của mặt đường bê tông nhựa. Lựa chọn nhiệt độ phối trộn và lu lèn quá thấp dẫn đến không đảm bảo được hệ số đầm chặt, bê tông nhựa tăng độ rỗng dư, suy giảm khả năng chịu lực. Ngoài hiện trường thi công, lựa chọn không phù hợp nhiệt độ phối trộn và thi công hỗn hợp bê tông nhựa dẫn đến suy giảm các đặc tính cơ lý và tuổi thọ của mặt đường.

Những nghiên cứu đầu tiên có thể được kể đến là: năm 1950, Parker [1] đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đầm mẫu đến độ ổn định Marshall của hỗn hợp bê tông nhựa trong phạm vi nhiệt độ từ 100 °F (38 °C) đến 350 °F (176 °C). Sau đó, nghiên cứu của Fink và Lettier năm 1951 [2] cho 09 loại nhựa đường có nguồn gốc và cách thức sản xuất khác nhau, trong một cấp phối bê tông nhựa chặt, để xem xét ảnh hưởng của độ nhớt tuyệt đối của nhựa đường đến độ ổn định Marshall. Kết quả cho thấy nhiệt độ đầm nén ít ảnh hưởng đến khối lượng thể tích của mẫu bê tông nhựa với nhiệt độ từ 135 °C trở lên đến 176 °C, ở nhiệt độ đầm nén dưới 135 °C khối lượng thể tích giảm nhanh (ví dụ, đầm nén ở 66 °C độ rỗng dư của bê tông nhựa tăng lên gấp 4 lần). Độ ổn định Marshall tăng lên khi nhiệt độ đầm tăng ở miền nhiệt độ cao, từ 135 °C trở lên; tuy nhiên, họ cũng ghi nhận sự giảm tuyến tính của độ ổn định khi đầm nén ở miền nhiệt độ thấp hơn, đặc biệt là giảm nhanh khi nhiệt độ đầm dưới 93 °C.

Serafin và các cộng sự [3] đưa ra cách lựa chọn nhiệt độ trộn nhựa đường ứng với độ nhớt Saybolt Furol là từ 143 °C đến 155 °C trong hướng dẫn xây dựng đường thử nghiệm Michigan (Michigan Test Road) năm 1954. Những nghiên cứu trên đã đưa ra tính cấp thiết để thiết lập tiêu chí tương đương đối với nhiệt độ đầm nén mẫu bê tông nhựa trong phòng thí nghiệm.

Alizera Zeinali và các cộng sự năm 2014 [4] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ trộn và đầm mẫu tới các đặc tính thể tích và mô đun động của mẫu bê tông nhựa. Sau khi nhựa đường và cốt liệu được trộn ở nhiệt độ được chỉ định, các hỗn hợp BTN rời được điều hòa dưỡng nhiệt trong tủ sấy cưỡng bức ở nhiệt độ đầm nén (thấp hơn nhiệt độ trộn 15 °C) trong ba khoảng thời gian: 0 giờ (không điều hòa), 2 giờ và 4 giờ. Thời gian điều hòa 2 giờ được lựa chọn trên cơ sở các thông số kỹ thuật AASHTO R30, để mô phỏng sự hấp thụ chất kết dính và sự lão hóa xảy ra trong quá trình trộn và vận chuyển, xây dựng của BTN. Kết quả cho thấy khi thay đổi nhiệt độ trộn mẫu từ 150 °C đến 190 °C, với các mức thời gian dưỡng nhiệt khác nhau (0; 2; 4 giờ), đối với các loại nhựa đường trong nghiên cứu, nhiệt độ trộn đã không ảnh hưởng đáng kể đến tỷ trọng lớn nhất G_{mm} của các mẫu BTN không điều hòa dưỡng nhiệt. Phát hiện này ngụ ý rằng, những thay đổi nhỏ trong nhiệt độ trộn không làm thay đổi độ hấp thụ của nhựa đường trong quá trình trộn. Tuy nhiên, việc điều hòa dưỡng nhiệt hỗn hợp trong 2 giờ dẫn đến tăng G_{mm} cho tất cả các loại nhựa đường. Sự gia tăng G_{mm} là một dấu hiệu cho thấy sự hấp thụ của nhựa đường vào các cốt liệu. Kết quả thí nghiệm của họ cũng cho thấy, hầu hết sự hấp thụ nhựa đường sau khi trộn diễn ra trong 2 giờ đầu tiên của quá trình dưỡng nhiệt. Việc dưỡng nhiệt hỗn hợp trong hơn 2 giờ (từ 2 đến 4 giờ) thậm chí làm giảm G_{mm} , tức là làm giảm khả năng hấp thụ nhựa đường của cốt liệu. Chỉ trong một số trường hợp đặc biệt, dưỡng nhiệt lâu hơn 2 giờ mới làm tăng G_{mm} : như là hỗn hợp BTN sử dụng nhựa đường PG 70-34 và nhiệt độ trộn cao 190 °C, và hỗn hợp với nhựa đường PG 76-22 và nhiệt độ trộn thấp 160 °C.

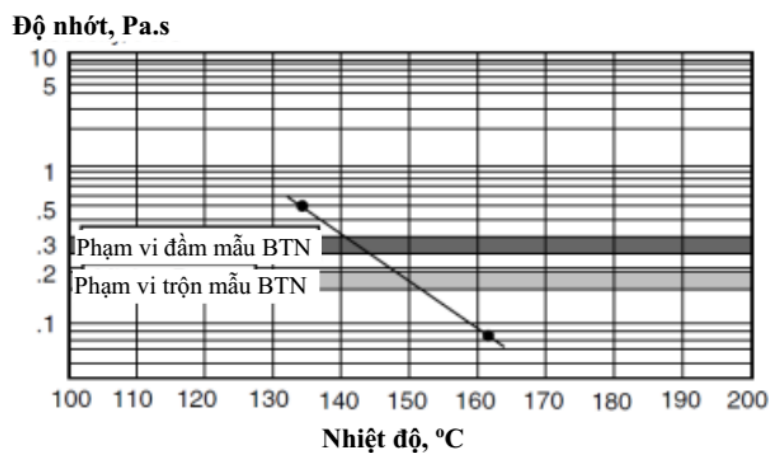
Kết quả nghiên cứu của Yoga Priyadarshini và các cộng sự năm 2013 [5] chỉ ra rằng khi tăng nhiệt độ đầm nén và trộn mẫu của các mẫu bê tông nhựa sử dụng nhựa đường polymer PG70-16 và nhựa đường sử dụng bột cao su, độ rỗng dư mẫu giảm và tăng mô đun động ở các nhiệt độ thử nghiệm.

Kim Kyoungchul và các cộng sự năm 2018 [6] nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đầm nén mẫu đến các đặc trưng thể tích và công đầm nén của bê tông nhựa sử dụng nhựa đường polymer. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi nhiệt độ đầm tăng, của các mẫu bê tông nhựa sử dụng nhựa đường polymer PG 64-28 và PG 58-28, thì tỷ trọng khối lớn nhất G_{mm} tăng nhiều ở nhiệt độ $115 \div 140$ °C và ít gia tăng ở khoảng nhiệt độ $90 \div 115$ °C. Nghiên cứu của họ cũng chỉ ra rằng khi tăng nhiệt độ đầm nén, độ rỗng cốt liệu VMA giảm, độ rỗng dư giảm và tăng độ rỗng lấp đầy nhựa VFA.

Công trình nghiên cứu của Kiefer [7] từ những năm 1960 cùng với quy trình thiết kế hỗn hợp Hveem đưa ra nhận định độ nhớt phù hợp cho trộn hỗn hợp ứng với độ nhớt khoảng 100 SSF (Saybolt Furol). Các mẫu được đầm nén trong máy đầm nén Hveem ở nhiệt độ 65, 87,7, 110, 132, 154 và 176 °C. Phạm vi nhiệt độ đã được chứng minh là ảnh hưởng đến khối lượng thể tích của mẫu, độ rỗng dư, độ ổn định Hveem.

Viện Asphalt của Mỹ, trong tài liệu MS-2 (Asphalt Mix Design Methods) [8] đã đưa ra phương pháp xác định nhiệt độ trộn và đầm nén hỗn hợp bê tông nhựa từ năm 1962 dựa trên độ nhớt Saybolt Furol. Phương pháp thử nghiệm độ nhớt Saybolt Furol được thay thế bằng xác định độ nhớt tuyệt đối và độ nhớt động học năm 1974 với khuyến cáo lựa chọn nhiệt độ trộn hỗn hợp khi độ nhớt nhựa đường nằm trong khoảng $0,17 \pm 0,02$ Pa.s và nhiệt độ trộn đầm nén khi độ nhớt nhựa đường nằm trong khoảng $0,28 \pm 0,03$ Pa.s.

Khi hệ thống phân cấp nhựa đường PG xuất hiện và phương pháp Superpave được xây dựng, độ nhớt kế con quay (RV - Rotational Viscometer) được sử dụng để xác định độ nhớt, nhưng tư duy về khoảng độ nhớt lựa chọn nhiệt độ trộn và lu lèn bê tông nhựa không thay đổi. Trong chương trình nghiên cứu chiến lược của Mỹ về đường bộ, báo cáo NCHRP 648 [9] đã thực hiện nghiên cứu quy mô lớn về nhiệt độ đầm nén và trộn hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng nhiều loại nhựa đường khác nhau. Theo đó, nhiệt độ trộn hỗn hợp bê tông nhựa lựa chọn theo độ nhớt con quay là 153 °C, nhiệt độ đầm mẫu bê tông nhựa là 143 °C. Theo khuyến cáo của viện Asphalt của Mỹ [10], tiến hành thử nghiệm độ nhớt của nhựa đường ở tối thiểu hai khoảng nhiệt độ (thường là 135 °C và 165 °C), dựng đồ thị dạng logarit của độ nhớt theo các nhiệt độ thử nghiệm và xác định khoảng nhiệt độ tương ứng với độ nhớt $0,17 \pm 0,02$ Pa.s (nhiệt độ phối trộn hỗn hợp bê tông nhựa) và khoảng nhiệt độ tương ứng với độ nhớt $0,28 \pm 0,03$ Pa.s (nhiệt độ lu lèn hỗn hợp bê tông nhựa). Theo họ thì nhiệt độ trộn của hỗn hợp bê tông nhựa nằm trong khoảng $150 \div 165$ °C, nhiệt độ lu lèn nằm trong khoảng từ $130 \div 150$ °C (tham khảo Hình 1).



Hình 1. Lựa chọn nhiệt độ trộn và đầm nén mẫu bê tông nhựa.

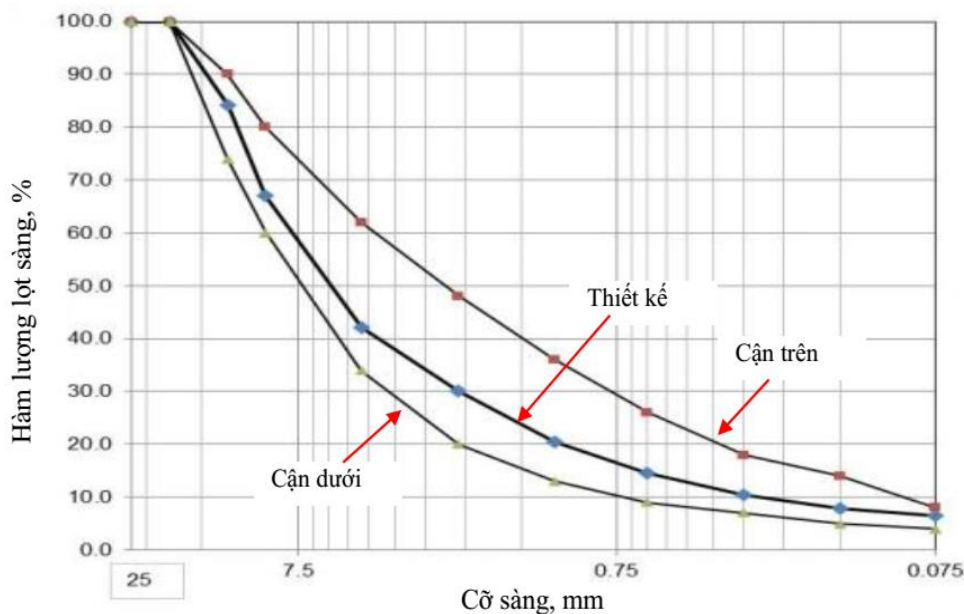
Hệ thống tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam hướng dẫn thi công nghiệm thu lớp bê tông nhựa nóng [11-13] có quy định khá rõ về nhiệt độ đầm nén và nhiệt độ thi công hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng nhựa đường thông thường và nhựa đường polymer. Khoảng độ nhớt quy định để lựa chọn nhiệt độ thi công là 0,2 Pa.s khá tương đồng với quy định của thế giới (0,17 ÷ 0,02 Pa.s). Tuy nhiên, trên thực tế nhà thầu thường chọn nhiệt độ thi công bê tông nhựa thường theo hướng dẫn của TCVN 8819:2019 trộn hỗn hợp ở nhiệt độ khoảng 155 °C và đầm nén hỗn hợp ở 145 °C với bê tông nhựa thường, trộn ở 160 ÷ 185 °C và đầm nén ở 130 ÷ 160 °C với bê tông nhựa polymer.

Để có những đánh giá một cách cụ thể, định lượng sự thay đổi các đặc tính theo nhiệt độ trộn và đầm mẫu của hỗn hợp bê tông nhựa sử dụng các vật liệu thành phần thông thường trong các công trình tại Việt Nam, bài báo thực hiện nghiên cứu thử nghiệm trong phòng đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ trộn và nhiệt độ đầm nén mẫu đến hàm lượng nhựa tối ưu khi thiết kế thành phần bê tông nhựa theo phương pháp Marshall, và đến các đặc tính thể tích, cơ học của hỗn hợp bê tông nhựa chặt 12,5 (BTNC12,5).

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các vật liệu thành phần của hỗn hợp bê tông nhựa là những loại vật liệu được dùng tương đối phổ biến trong các dự án đường giao thông ở khu vực phía Bắc Việt Nam. Sử dụng cốt liệu thô, cốt liệu mịn, đá mặt và bột khoáng lấy từ mỏ đá Kiện Khê -Hà Nam. Do không có nguồn cát nghiền nên sử dụng cốt liệu mịn là đá mặt. Thử nghiệm các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu đá và bột khoáng sử dụng cho nghiên cứu, kết quả thí nghiệm cho thấy các vật liệu này đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của các vật liệu thành phần cho bê tông nhựa theo quy định của TCVN 8820:2011 và 858/QĐ-BGTVT 2014.

Tiến hành tính toán thiết kế thành phần cấp phối hỗn hợp BTNC12,5 theo yêu cầu về thành phần hạt theo Quyết định số 858/QĐ-BGTVT, kết quả tính toán thành phần cấp phối BTNC12.5 sử dụng: 25 % cốt liệu thô D_{max} 19 mm, 34 % cốt liệu thô D_{max} 12,5 mm, 35 % cốt liệu mịn D_{max} 4,75 mm, 6 % bột khoáng. Kết quả đường cong cấp phối của thành phần cốt liệu được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Đường cong cấp phối BTNP thiết kế

Thiết kế hàm lượng nhựa tối ưu của hỗn hợp BTNC12.5 được thực hiện theo phương pháp Marshall và tuân theo TCVN 8819:2011. Tiến hành trộn và chế bị 05 tổ mẫu bê tông nhựa (BTN), mỗi tổ mẫu gồm 03 mẫu, với hàm lượng nhựa khác nhau từ 3,5 ÷ 5,5 % có bước thay đổi 0,5 %. Hỗn hợp BTN được trộn và đầm ở 155 °C và 145 °C là chế độ nhiệt độ tiêu chuẩn, theo phương pháp Marshall với 75 chày đầm mỗi mặt. Sau khi bảo dưỡng và tháo khuôn, tiến hành thử nghiệm các đặc tính thể tích và Marshall. Hàm lượng nhựa tối ưu được xác định là 4,6 % theo hỗn hợp (4,82 % theo cốt liệu), được xác định thông qua việc tiến hành thử nghiệm các đặc tính thể tích và Marshall là độ rỗng dư, độ rỗng cốt liệu VMA, độ rỗng lấp đầy nhựa đường VFA, độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall. Hàm lượng nhựa đường đáp ứng các yêu cầu chỉ tiêu kỹ thuật của BTNC 12,5 nằm trong khoảng từ 4,4% đến 4,9%. Hàm lượng nhựa tối ưu được lựa chọn 4,6%, đảm bảo độ rỗng dư ở mức trung bình là 4,5%, độ ổn định Marshall trung bình 9,8 kN, độ dẻo Marshall trung bình 2,9mm, độ rỗng lấp đầy VFA = 68,5%.

Quy trình thử nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh theo Phụ lục C của 22TCN211:2006. Sử dụng mô hình thí nghiệm từ biến với bộ thiết bị thí nghiệm động đa chức năng UTM Cooper gia tải bằng áp lực khí với buồng ổn định nhiệt có thể đảm bảo chính xác nhiệt độ trong khoảng -25 °C cho đến 60 °C. Nhiệt độ của mẫu khi thí nghiệm được chọn là 30 °C. Mẫu được gia tải với tốc độ 50 mm/phút, duy trì áp lực nén 0,5 MPa cho tới khi biến dạng ổn định (tốc độ tăng biến dạng nhỏ hơn 0,01mm/phút), dỡ tải và ghi nhận biến dạng phục hồi khi tốc độ phục hồi biến dạng ổn định (tốc độ phục hồi nhỏ hơn 0,01mm/phút).

Thử nghiệm xác định cường độ chịu kéo của mẫu khi ép chế theo TCVN 8862:2011 trên thiết bị thí nghiệm nén Marshall. Nhiệt độ của mẫu khi thí nghiệm được chọn là 15 °C.

3. KẾT QUẢ ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT TRỘN/ĐẦM MẪU ĐẾN CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MẪU BTNC12.5

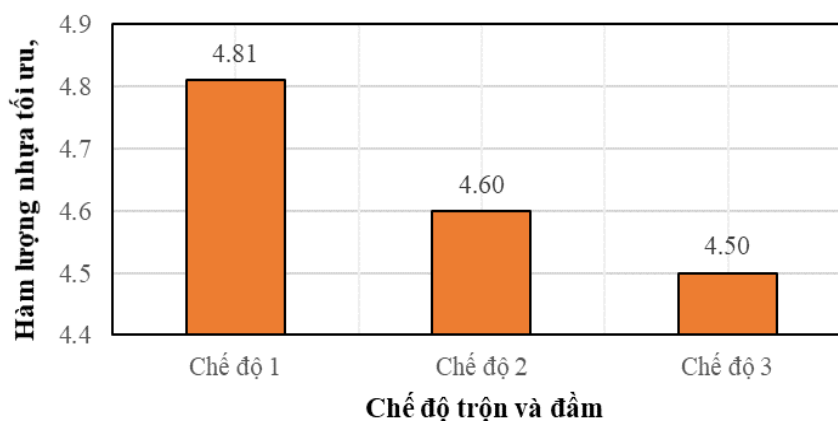
3.1. Kết quả ảnh hưởng nhiệt độ đầm mẫu đến hàm lượng nhựa tối ưu

Theo các tiêu chuẩn hiện hành ở Việt Nam và kinh nghiệm nghiên cứu trên thế giới [9-12,17] đã chỉ ra rằng thay đổi nhiệt độ 10 ÷ 15 °C bắt đầu có những ảnh hưởng rõ rệt đến độ nhớt nhựa đường cũng như các đặc tính phối trộn của BTN. Do đó, trong nghiên cứu này, chọn khoảng thay đổi nhiệt độ 15 °C của nhiệt độ trộn và đầm mẫu cho các chế độ khác nhau. Lựa chọn 03 chế độ trộn và đầm mẫu như sau: chế độ 1 (CĐ1) trộn mẫu ở nhiệt độ 140 °C và đầm mẫu ở 130 °C; chế độ 2 (CĐ2) trộn và đầm ở nhiệt độ 155 °C và 145 °C; chế độ 3 (CĐ3) trộn và đầm ở nhiệt độ 170 °C và 160 °C. Tiến hành trộn hỗn hợp bê tông nhựa ở các chế độ CĐ1, CĐ2, CĐ3, mỗi chế độ với các hàm lượng nhựa đường là 4,0 %, 4,5 % và 5,0 %. Tổng hợp kết quả thí nghiệm các đặc tính của mẫu BTN để xác định hàm lượng nhựa tối ưu ở mỗi chế độ được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp kết quả thử nghiệm xác định hàm lượng nhựa tối ưu ở 3 chế độ nhiệt độ

Tên chỉ tiêu	Đặc tính kỹ thuật ứng với hàm lượng nhựa và chế độ trộn/đầm								
	Trộn 140 °C, đầm 130 °C			Trộn 155 °C, đầm 145 °C			Trộn 170 °C, đầm 160 °C		
	4,0%	4,5%	5,0%	4,0%	4,5%	5,0%	4,0%	4,5%	5,0%
Độ rỗng dư, %	7,58	5,82	4,07	7,00	5,03	3,47	6,63	4,44	3,19
Độ rỗng cốt liệu, %	16,28	15,69	15,07	15,51	14,69	14,34	14,90	13,79	13,55
Độ rỗng lấp đầy, %	53,45	62,90	73,00	54,86	65,75	75,85	55,51	67,80	76,87

Tên chỉ tiêu	Đặc tính kỹ thuật ứng với hàm lượng nhựa và chế độ trộn/đầm								
	Trộn 140 °C, đầm 130 °C			Trộn 155 °C, đầm 145 °C			Trộn 170 °C, đầm 160 °C		
	4,0%	4,5%	5,0%	4,0%	4,5%	5,0%	4,0%	4,5%	5,0%
Độ ổn định Marshall, kN	9,2	9,5	8,8	10,27	9,90	9,50	11,46	11	10,63
Độ dẻo Marshall, mm	3,1	3,8	4,0	2,40	2,93	3,50	2,31	2,65	3,12



Hình 3. Hàm lượng nhựa thiết kế tối ưu ở các chế độ nhiệt độ trộn/đầm mẫu BTNC12,5.

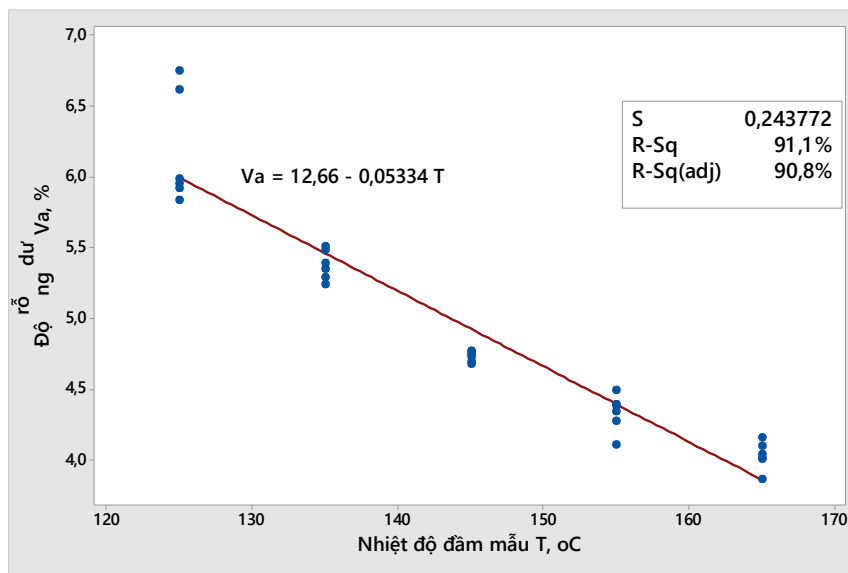
Xây dựng các biểu đồ tương quan của độ rỗng dư, độ rỗng lấp đầy nhựa, độ ổn định Marshall và chỉ số dẻo Marshall các mẫu bê tông nhựa với 03 hàm lượng nhựa 4,0 %, 4,5 % và 5,0 %. Xác định và lựa chọn hàm lượng nhựa tối ưu (đảm bảo độ rỗng dư ở mức trung bình là 4,5 %) ứng với các chế độ như sau: 4,81 % ứng với CĐ1, 4,6 % ứng với CĐ2, 4,5 % ứng với CĐ3. Như vậy, hàm lượng nhựa tối ưu ứng với các chế độ giảm dần khi tăng nhiệt độ trộn và đầm mẫu (được thể hiện trong Hình 3). Cụ thể, giảm nhiệt độ trộn/đầm 15 °C phải sử dụng tăng thêm 0,21% hàm lượng nhựa đường, ngược lại, tăng nhiệt độ trộn/đầm 15 °C có thể giảm hàm lượng nhựa tối ưu 0,1%.

3.2. Kết quả ảnh hưởng nhiệt độ đầm mẫu đến độ rỗng dư

Tiến hành trộn và đầm các hỗn hợp BTNC12,5 với hàm lượng nhựa thiết kế 4,6 %, và với 05 chế độ nhiệt độ trộn/đầm thay đổi (tăng và giảm 10 °C) xung quanh chế độ nhiệt tiêu chuẩn (trộn ở 155 °C, đầm ở 145 °C). Cụ thể như sau: hỗn hợp 1, trộn ở 135 °C, đầm mẫu ở 125 °C; hỗn hợp 2: trộn ở 145 °C, đầm mẫu ở 135 °C; hỗn hợp 3: trộn ở 155 °C, đầm mẫu ở 145 °C; hỗn hợp 4: trộn ở 165 °C, đầm mẫu ở 155 °C; hỗn hợp 5: trộn ở 175 °C, đầm mẫu ở 165 °C. Hình 4 giới thiệu 05 tổ mẫu thí nghiệm đầm nén Marshall được đầm nén ở 05 miền nhiệt độ khác nhau. Mỗi tổ mẫu gồm 06 mẫu.



Hình 4. Hình ảnh các mẫu đầm Marshall ở 5 nhiệt độ khác nhau.



Hình 5. Biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của nhiệt độ đầm đến độ rỗng dư.

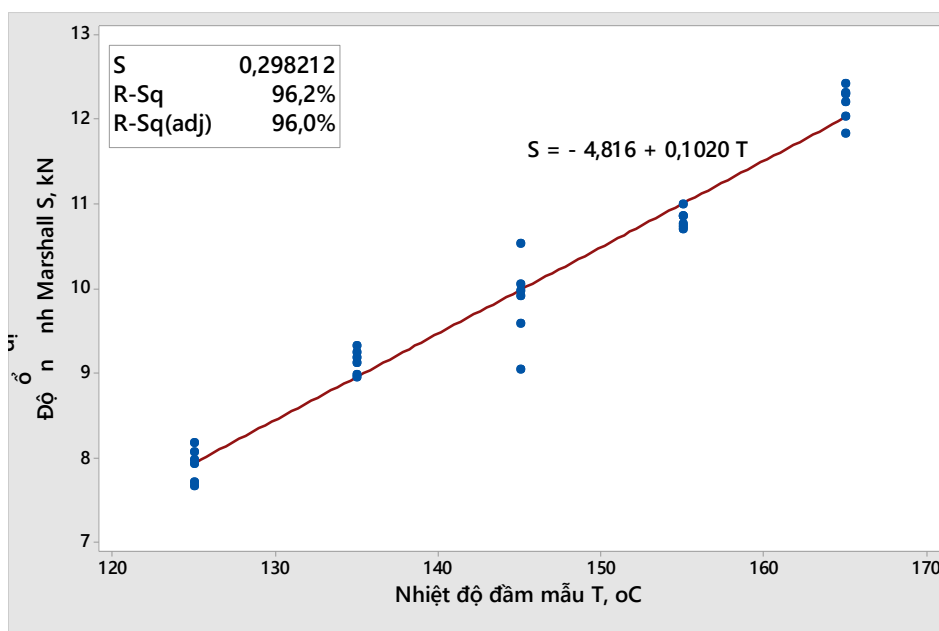
Kết quả thí nghiệm độ rỗng dư các mẫu trộn và đầm ở các nhiệt độ khác nhau được thể hiện trong Hình 5. Đường nét đứt trong Hình 5 biểu diễn xu hướng thay đổi của độ rỗng dư V_a theo giá trị trung bình của các kết quả thí nghiệm. Kết quả thấy, độ rỗng dư trung bình các mẫu bê tông nhựa giảm dần khi tăng nhiệt độ đầm nén từ 125 °C đến 165 °C, từ mức $V_a = 6,17\%$ giảm còn 4,04 %, (giảm khoảng 30% độ rỗng dư). Quy luật giảm độ rỗng dư theo nhiệt độ trộn và đầm mẫu cũng có thể coi gần với quy luật tuyến tính và thể hiện mức độ ảnh hưởng mạnh của nhiệt độ trộn và đầm mẫu với độ rỗng dư. Có thể lý giải nguyên nhân của việc tăng độ rỗng dư khi giảm nhiệt độ trộn và đầm mẫu là do độ nhớt của nhựa đường tăng dẫn đến chiều dày màng nhựa bao bọc cốt liệu tăng, mức độ bao bọc cốt liệu giảm; ngoài ra

khi độ nhớt của nhựa tăng lên thì bản thân vật liệu nhựa đường cũng tăng độ cứng và làm tăng sức cản nhớt khi đầm nén.

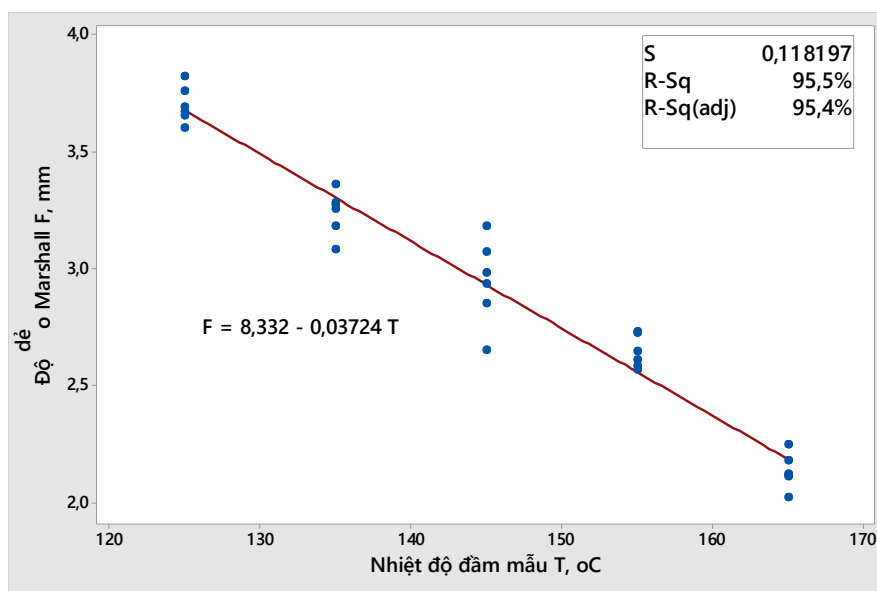
Ngoài ra, khoảng biến thiên mạnh của kết quả độ rỗng dư ở nhiệt độ đầm 125 °C so với các miền nhiệt độ cao hơn cũng có thể chỉ ra rằng: hỗn hợp bê tông nhựa khi được đầm chặt ở nhiệt độ thấp (ở 125 °C và thấp hơn) sẽ có độ rỗng dư lớn nhất và sự thay đổi độ rỗng dư này với công đầm và điều kiện đầm như nhau là lớn nhất. Hay có thể hiểu cách khác là, tính ổn định của hiệu quả đầm nén hỗn hợp bê tông nhựa ở nhiệt độ thấp (ở 125 °C) là kém nhất, các kết quả dễ bị phân tán, và cũng tạo ra độ rỗng dư lớn nhất. Điều này cũng khá phù hợp với các kết quả nghiên cứu tổng quan ở phần đầu bài báo.

3.3. Kết quả ảnh hưởng nhiệt độ đầm mẫu đến độ ổn định và độ dẻo Marshall

Kết quả thí nghiệm độ ổn định Marshall của các mẫu trộn và đầm ở nhiệt độ khác nhau được thể hiện trong Hình 6. Độ ổn định Marshall được cải thiện đáng kể khi tăng nhiệt độ trộn và đầm mẫu, quy luật tăng tuân theo gần với quy luật tuyến tính: tăng 15% khi tăng nhiệt độ từ 125 °C đến 135 °C; tăng 7,8% khi tăng nhiệt độ từ 135 °C đến 145 °C; tăng 9,7% khi tăng nhiệt độ từ 145 °C đến 155 °C; tăng 12,7% khi tăng nhiệt độ từ 155 °C đến 165 °C. Như vậy tốc độ tăng độ ổn định Marshall khác nhau trong dải nhiệt độ nghiên cứu. Nhận xét điển hình đưa ra là khi tăng nhiệt độ đầm mẫu lên 165 °C, độ ổn định Marshall tăng 22,48% so với nhiệt độ đầm thông thường 145 °C. Độ ổn định Marshall tăng có thể được lý giải do độ rỗng dư giảm, bê tông nhựa được đầm nén chặt hơn là nguyên nhân dẫn đến tăng mật độ tiếp xúc, tăng khả năng chịu lực, tăng khả năng kháng biến dạng do tải trọng tác dụng.



Hình 6. Biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của nhiệt độ đầm đến độ ổn định Marshall.



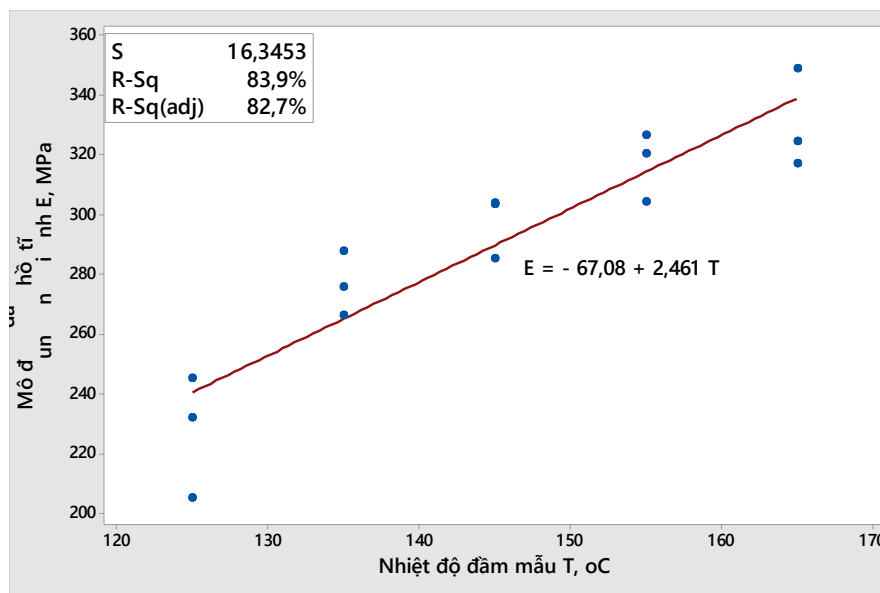
Hình 7. Biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của nhiệt độ đầm đến độ dẻo Marshall.

Tăng nhiệt độ đầm nén làm giảm độ dẻo Marshall, gần với quy luật tuyến tính được giới thiệu ở Hình 7. Độ dẻo Marshall giảm 12,6 % khi tăng nhiệt độ từ 125 °C đến 135 °C; giảm 9,2% khi tăng nhiệt độ từ 135 °C đến 145 °C; giảm 10,2% khi tăng nhiệt độ từ 145 °C đến 155 °C; và giảm 19,3% khi tăng nhiệt độ từ 155 °C đến 165 °C. Độ dẻo Marshall giảm có thể được lý giải do độ rỗng dư giảm, mức độ đầm nén mẫu (tỷ lệ G_{mb} so với G_{mm}) tăng dẫn đến giảm biến dạng đầm nén thứ cấp khi chịu tải. Ngoài ra, khi bê tông nhựa được đầm nén chặt hơn là nguyên nhân dẫn đến tăng mật độ tiếp xúc, tăng khả năng chịu lực, tăng khả năng kháng biến dạng do tải trọng tác dụng trong thử nghiệm Marshall.

3.4. Kết quả ảnh hưởng nhiệt độ đầm mẫu đến mô đun đàn hồi

Giá trị mô đun đàn hồi “tĩnh” tại nhiệt độ 30 °C được trình bày trong Hình 8. Nhận xét kết quả cho thấy, nhiệt độ đầm mẫu ảnh hưởng khá rõ rệt đến mô đun đàn hồi tĩnh của bê tông nhựa ở 30 °C. Khi tăng/giảm nhiệt độ đầm thì giá trị mô đun đàn hồi cũng xác nhận xu hướng tăng/giảm tương ứng, điều này đã được xác nhận và phù hợp với quy luật thay đổi của độ rỗng dư và độ ổn định Marshall. Với mỗi khoảng thay đổi nhiệt độ (10 °C) giữa các chế độ nhiệt độ đầm trong khoảng nhiệt từ 125 °C đến 165 °C, mức độ thay đổi của mô đun đàn hồi tương đối đồng đều (thay đổi từ 7 % đến 10 %). Tuy vậy, kết quả cũng ghi nhận mức độ giảm tương đối nhiều (21,6%) của mô đun khi giảm nhiệt độ đầm từ 135 °C xuống 125 °C. Trong khoảng nhiệt độ này, cùng với sự thay ghi nhận đối của độ rỗng dư và độ ổn định Marshall, có thể đưa đến kết luận, sự thay đổi của mô đun đàn hồi là đáng kể bắt đầu từ nhiệt độ 135 °C trở xuống. Chứng tỏ trong thực tế, nếu đầm bê tông nhựa ở nhiệt độ thấp, dẫn đến độ rỗng dư của mẫu cao sẽ làm giảm khả năng chịu lực, mô đun đàn hồi chung của toàn kết cấu. Kết quả này phù hợp với kết quả độ rỗng dư ở mục 3.2 và kết quả nghiên cứu tổng quan của bài báo.

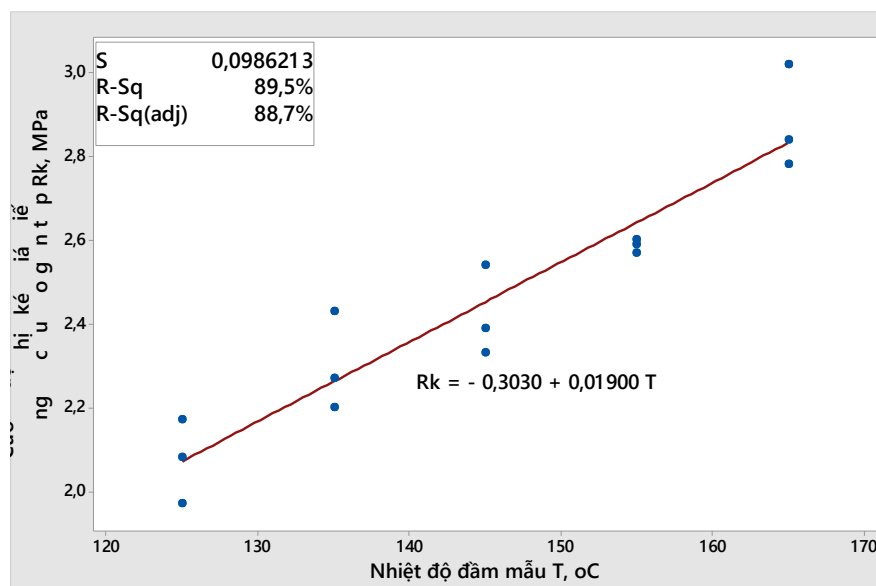
Cũng có thể chú ý thêm rằng nhiệt độ khi thi công (đầm nén) có thể không đảm bảo tuy nhiên việc tăng hoặc giảm công đầm nén cũng sẽ tạo ra được độ rỗng dư yêu cầu của hỗn hợp. Nhiệt độ thi công không đảm bảo có thể bù trừ bằng công lu để đạt độ chặt yêu cầu, tất nhiên trong phạm vi cho phép về mức độ tăng thêm về chi phí và thời gian. Để có những hiểu biết rõ hơn, cần có những nghiên cứu thêm về công đầm gắn với nhiệt độ đầm bê tông nhựa.



Hình 8. Biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của nhiệt độ đầm đến mô đun đàn hồi ở 30 °C.

3.5. Kết quả ảnh hưởng nhiệt độ đầm mẫu đến cường độ chịu kéo gián tiếp

Giá trị cường độ chịu kéo khi ép chế ở 15 °C được trình bày trong Hình 9. Khi tăng nhiệt độ đầm nén từ 125 °C lên 165 °C cường độ chịu kéo gián tiếp tăng gần với quy luật tuyến tính từ mức 2,07 MPa lên mức 2,88 MPa (34,7%). Giảm nhiệt độ đầm nén từ 145 °C xuống 125 °C, cường độ chịu kéo gián tiếp giảm gần 16%, tăng nhiệt độ đầm nén từ 145 °C lên mức 165 °C cường độ chịu kéo gián tiếp tăng tới gần 18,2%.



Hình 9. Biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của nhiệt độ đầm đến cường độ ép chế ở 15 °C.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong phòng cho thấy sự tăng và giảm nhiệt độ trộn và đầm nén dẫn đến những ảnh hưởng rõ rệt đến hàm lượng nhựa tối ưu thiết kế, đến các đặc tính

thể tích và cơ học của mẫu bê tông nhựa. Hàm lượng nhựa tối ưu trong hỗn hợp bê tông nhựa giảm từ 4,6 % xuống 4,5 % và tăng từ 4,6 % lên 4,81 % tương ứng với trường hợp khi tăng nhiệt độ trộn/đầm lên 15 °C và trường hợp giảm nhiệt độ trộn/đầm xuống 15 °C.

Các kết quả mang tính định lượng cao và cơ sở để so sánh, tham khảo các chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp bê tông nhựa ở các nhiệt độ trộn/đầm khác nhau xung quanh nhiệt độ đầm tiêu chuẩn là 145 °C. Sự thay đổi các chỉ tiêu khi giảm nhiệt đầm nén mẫu bê tông nhựa từ 145 °C xuống mức 125 °C làm cho: độ rỗng dư tăng lên 6,17%, độ ổn định Marshall giảm 23%, độ dẻo tăng 21,9%, mô đun đàn hồi tĩnh giảm 29,2% và cường độ ép chế giảm 16,1%. Ở chiều ngược lại, tăng nhiệt độ trộn và đầm nén mẫu bê tông nhựa từ 145 °C lên đến 165 °C làm giảm độ rỗng dư, tăng độ ổn định Marshall, giảm độ dẻo, tăng mô đun đàn hồi tĩnh và tăng cường độ chịu kéo gián tiếp.

Từ 135 °C trở xuống, mức độ thay đổi hay mức độ suy giảm chất lượng bê tông nhựa (độ rỗng dư tăng, độ ổn định Marshall và mô đun đàn hồi giảm) diễn ra nhanh hơn so với ở nhiệt độ cao. Đặc biệt ở 125 °C, chỉ tiêu độ rỗng dư và mức độ ổn định của nó giảm rõ rệt, độ chặt đầm nén hỗn hợp bê tông nhựa ở 125 °C giảm nhanh và khó kiểm soát chất lượng đầm nén hơn. Mức suy giảm tính năng của bê tông nhựa là đáng kể khi nhiệt độ đầm giảm xuống dù chỉ khoảng 10 °C (nhất là nhiệt độ đầm bắt đầu từ dưới 135 °C trở xuống), kết quả bài báo đưa ra những cảnh báo về mức độ thay đổi chất lượng bê tông nhựa khi nhiệt độ đầm hỗn hợp giảm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này nhận được sự hỗ trợ rất lớn của phòng Lab 72 và Trung tâm thí nghiệm kiểm định thuộc Trường đại học công nghệ Giao thông vận tải. Tác giả xin chân thành cảm ơn các thí nghiệm viên trung tâm thí nghiệm kiểm định đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. C.F. Parker, Use of Steel-Tired Rollers, Highway Research Board Bulletin No. 246, Highway Research Board, National Research Council, Washington D.C, 1950.
- [2]. D.F. Fink, J.A. Lettier, Viscosity Effects in the Marshall Stability Test, Proceedings. AAPT, Vol. 20, 1951.
- [3]. P.J. Serafin, L.L. Kole, A.P. Chritz, Michigan Bituminous Experimental Road: Final Report, AAPT Vol. 36, 1967.
- [4]. A. Zeinali, P.B. Blankenship, K.C. Mahboub, Effect of Laboratory Mixing and Compaction Temperatures on Asphalt Mixture Volumetrics and Dynamic Modulus, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2447 (2014) 101-108. <https://doi.org/10.3141/2447-11>.
- [5]. Y. Priyadarshinia, S. Maheshwari, A. Padmarekha, J. M. Krishnan, Effect of Mixing and Compaction Temperature on Dynamic Modulus of Modified Binder Bituminous Mixtures, 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG), Procedia - Social and Behavioral Sciences, 104 (2013) 12-20.
- [6]. K. Kyoungchul, K. Myungook, Effects of Compaction Temperature on the Volumetric Properties and Compaction Energy Efforts of Polymer-Modified Asphalt Mixtures, Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed, 33 (2018) 146-154.
- [7]. R.W. Kiefer, The Effect of Compaction Temperature on the Properties of Bituminous Concrete, American Society for Testing and Materials Special Technical Publication No. 294, Sixty-third Annual Meeting Papers, 1960.

- [8]. E.R. Brown và các cộng sự, Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types (MS-2), The Asphalt Institute (1997), 6th Ed.,141 pp.
- [9]. R.C. West, D.E. Watson, P.A. Turner, J.R. Casola, Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt, NCHRP Report 648, Transportation Research Board, <https://doi.org/10.17226/14367>
- [10]. Asphalt Institute, 2001, Superpave Mix Design, Superpave Series No. 2 (SP-2), Lexington, Kentucky.
- [11]. TCVN 8819:2011, Mặt đường bê tông nhựa nóng - Yêu cầu thi công và nghiệm thu.
- [12]. TCVN 8820:2011, Hỗn hợp bê tông nhựa nóng - Thiết kế theo phương pháp Marshall
- [13]. QĐ 858 QĐ-BGTVT 2014, Hướng dẫn áp dụng hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành nhằm tăng cường quản lý chất lượng thiết kế và thi công mặt đường bê tông nhựa nóng đối với tuyến đường ô tô có quy mô giao thông lớn do bộ trưởng bộ giao thông vận tải ban hành.